

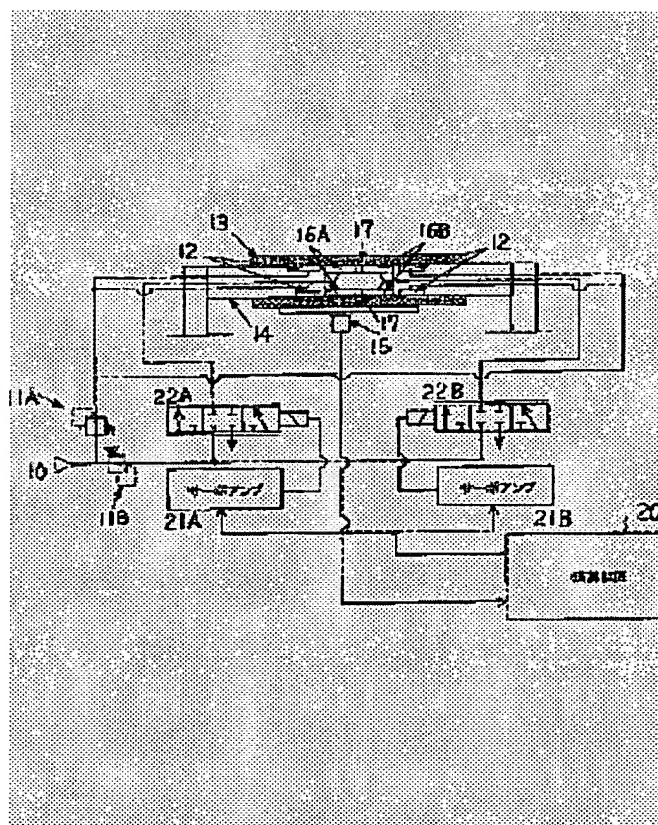
**METHOD AND APPARATUS FOR CONTROLLING GAS PRESSURE ACTUATOR**

**Patent number:** JP2001336504  
**Publication date:** 2001-12-07  
**Inventor:** MAKINO FUMINORI; SAKAKI KAZUTOSHI  
**Applicant:** SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES  
**Classification:**  
- **International:** *F15B9/09; G05D3/00; G05D3/12; F15B9/00; G05D3/00; G05D3/12;* (IPC1-7): F15B9/09; G05D3/00; G05D3/12  
- **European:**  
**Application number:** JP20000154151 20000525  
**Priority number(s):** JP20000154151 20000525

**Report a data error here**

**Abstract of JP2001336504**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a control device capable of controlling the position of a slider with high accuracy, for a gas pressure actuator causing the slider floated up-by a static pressure bearing to be driven by differential pressure by use of two double acting type servo valves. **SOLUTION:** The apparatus includes a computing device 20 for performing operations and outputting command values to the servo valves 22A and 22B by, sampling position detection signals transmitted from a position sensor 15 for detecting the position of the slider 13. The computing device performs the step of calculating the current estimated position, estimated speed, and estimated acceleration of the slider by use of both a command value which is outputted one, sampling period before and a slider position which is measured one sampling period before; the step of calculating command values for the two servo valves from a desired slider position and the calculated estimated position, estimated speed and estimated acceleration of the slider; the step of calculating a correction value for the neutral points of the servo valves as to differences among different actuators,,from the command value outputted one sampling period before, the estimated speed calculated one sampling period before, the estimated acceleration calculated one sampling period before, and the current estimated acceleration calculated; and the step of correcting the command value by use of the correction value.and imparting the corrected value to the two servo valves.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-336504

(P2001-336504A)

(43)公開日 平成13年12月7日(2001.12.7)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト*(参考)
F 1 5 B 9/09		F 1 5 B 9/09	F 3 H 0 0 1
G 0 5 D 3/00		G 0 5 D 3/00	D 5 H 3 0 3
3/12		3/12	T
	3 0 4		3 0 4

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2000-154151(P2000-154151)

(22)出願日 平成12年5月25日(2000.5.25)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年12月2日～12月3日 社団法人計測自動制御学会主催の「第17回流体計測・第14回流体制御合同シンポジウム」において文書をもって発表

(71)出願人 000002107

住友重機械工業株式会社

東京都品川区北品川五丁目9番11号

(72)発明者 牧野 史紀

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重機械工業株式会社平塚事業所内

(72)発明者 梶 和敏

神奈川県平塚市夕陽ヶ丘63番30号 住友重機械工業株式会社平塚事業所内

(74)代理人 100071272

弁理士 後藤 洋介 (外1名)

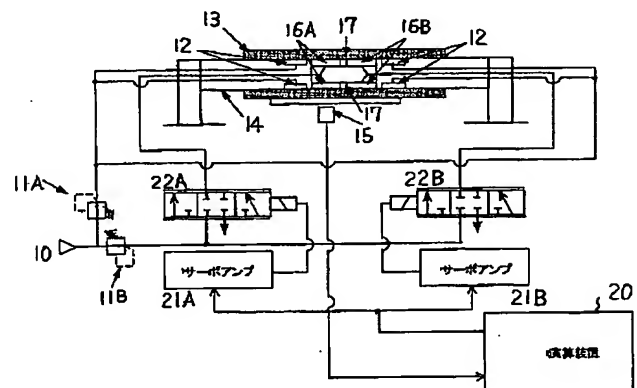
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 気体圧アクチュエータの制御方法及び制御装置

## (57)【要約】

【課題】 静圧軸受により浮上したスライダを、複動形の2台のサーボ弁を用いて差圧により駆動する気体圧アクチュエータにおいて、スライダを高精度で位置制御できるような制御装置を提供する。

【解決手段】 スライダ13の位置を検出する位置センサ15からの位置検出信号に対してサンプリングを行って演算を行い、サーボ弁22A、22Bに指令値を出力する演算装置20を含む。演算装置は、1サンプリング周期前の指令値と1サンプリング周期前のスライダ位置とを用いて現在のスライダの推定位置、推定速度、推定加速度を算出するステップと、スライダ目標位置、算出されたスライダの推定位置、算出された推定速度、算出された推定加速度より2つのサーボ弁に対する指令値を算出するステップと、1サンプリング周期前の指令値、1サンプリング周期前の算出された推定速度、1サンプリング周期前の算出された推定加速度、算出された現在の推定加速度からサーボ弁中立点の機差に対する補正値を算出するステップと、前記指令値を前記補正値で補正して2つのサーボ弁に与えるステップとを実行する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 固定部とこれに対して静圧軸受を介してスライド可能に設けられたスライダとを含み、該スライダを可動とするための 2 つの圧力室を形成し、これら 2 つの圧力室に供給される圧縮気体の流量をそれぞれサーボ弁により制御することにより、前記 2 つの圧力室の差圧で前記スライダを非接触で駆動するように構成された気体圧アクチュエータの制御方法において、

前記スライダの位置を検出するための位置検出器からの位置検出信号に対してサンプリングを行ってあらかじめ定められた演算を行い、前記 2 つのサーボ弁に指令値を出力する演算装置を備え、

該演算装置は、

1 サンプリング周期前の指令値と 1 サンプリング周期前のスライダ位置とを用いて現在のスライダの推定位置、推定速度、推定加速度を算出する第 1 のステップと、スライダ目標位置、算出されたスライダの推定位置、算出された推定速度、算出された推定加速度より前記 2 つのサーボ弁に対する指令値を算出する第 2 のステップと、

1 サンプリング周期前の指令値、1 サンプリング周期前の算出された推定速度、1 サンプリング周期前の算出された推定加速度、算出された現在の推定加速度から定常位置偏差に対する補正値を算出する第 3 のステップと、前記第 2 のステップで算出された指令値を前記第 3 のステップで算出された補正値で補正して前記 2 つのサーボ弁に与える第 4 のステップとを実行することを特徴とする気体圧アクチュエータの制御方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載の制御方法において、前記スライダ目標値が与えられてからサーボ弁に対する指令値が出力されるまでの制御系は、あらかじめ定められた伝達関数  $G_c(s)$  で規定され、前記演算装置は更に、前記スライダ目標値に前記伝達関数の逆モデル  $G_c(s)^{-1}$  を乗算するステップを実行することにより定常速度偏差を低減できるようにしたことを特徴とする気体圧アクチュエータの制御方法。

【請求項 3】 固定部とこれに対して静圧軸受を介してスライド可能に設けられたスライダとを含み、該スライダを可動とするための 2 つの圧力室を形成し、これら 2 つの圧力室に供給される圧縮気体の流量をそれぞれサーボ弁により制御することにより、前記 2 つの圧力室の差圧で前記スライダを非接触で駆動するように構成された気体圧アクチュエータにおいて、

前記スライダの位置を検出するための位置検出器と、該位置検出器からの位置検出信号に対してサンプリングを行ってあらかじめ定められた演算を行い、前記 2 つのサーボ弁に指令値を出力する演算装置とを含み、

該演算装置は、

1 サンプリング周期前の指令値と 1 サンプリング周期前のスライダ位置とを用いて現在のスライダの推定位置、

推定速度、推定加速度を算出する第 1 のステップと、

スライダ目標位置、算出されたスライダの推定位置、算出された推定速度、算出された推定加速度より前記 2 つのサーボ弁に対する指令値を算出する第 2 のステップと、

1 サンプリング周期前の指令値、1 サンプリング周期前の算出された推定速度、1 サンプリング周期前の算出された推定加速度、算出された現在の推定加速度から定常位置偏差に対する補正値を算出する第 3 のステップと、前記第 2 のステップで算出された指令値を前記第 3 のステップで算出された補正値で補正して前記 2 つのサーボ弁に与える第 4 のステップとを実行することを特徴とする気体圧アクチュエータの制御装置。

【請求項 4】 請求項 3 記載の制御装置において、前記気体圧アクチュエータは、一軸方向に延びるガイド軸を前記固定部として有し、前記スライダは前記静圧軸受を介して前記ガイド軸に沿って移動可能にされており、前記ガイド軸の周囲と前記スライダとの間に空間を形成すると共に、該空間を軸方向に関して前記 2 つの圧力室に区画する隔壁を前記スライダ、前記ガイド軸の一方に設け、前記 2 つの圧力室にそれぞれ前記圧縮気体を供給するための給気系が備えられ、該給気系にはそれぞれ 3 位置 3 ポート直動型サーボ弁が設けられて前記 2 つの圧力室にそれぞれ、圧縮気体を出入り可能に構成されていることを特徴とする気体圧アクチュエータの制御装置。

【請求項 5】 請求項 3 あるいは 4 記載の制御装置において、前記スライダ目標値が与えられてからサーボ弁に対する指令値が出力されるまでの制御系は、あらかじめ定められた伝達関数  $G_c(s)$  で規定され、前記演算装置は更に、前記スライダ目標値に前記伝達関数の逆モデル  $G_c(s)^{-1}$  を乗算するステップを実行することにより定常速度偏差を低減できるようにしたことを特徴とする気体圧アクチュエータの制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、気体圧アクチュエータ、特に空気圧アクチュエータの制御方法及び制御装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 空気圧アクチュエータとして、図 6 に示すような例が本発明者らにより提案されている。図 6 において、この空気圧アクチュエータ 30 は、両端部を支持体により固定されて一軸方向に延びるガイド軸 31 と、これに沿って移動可能なスライダ 32 とを含む。スライダ 32 は、ガイド軸 31 の一定長さに対応する部分の周囲を囲むことができるような筒状体であり、ガイド軸 31 の外周との間に空間ができるようにされている。この空間は、圧力室として使用されるものであり、この圧力室を軸方向に関して 2 つのシリンダ室 36a、36b に区画する隔壁 33 をガイド軸 31 に固定している。

スライダ32は、隔壁33の外周に沿ってスライド可能である。スライダ32の両端部にはまた、2つに区画されたシリンダ室36a、36bにそれぞれ、圧縮空気を出入り可能にするためのシリンダ給気系37a、37bを接続している。シリンダ給気系37a、37bはそれぞれ、サーボ系を構成するためのサーボ弁38a、38bを備え、これらのサーボ弁38a、38bは圧縮空気供給源に接続されている。

【0003】このような構成により、例えばサーボ弁38aを圧縮空気供給側、サーボ弁38bを大気開放側にすると、隔壁33は受圧板として作用してスライダ32は、図4中、左方向に移動する。このようにして、サーボ弁38a、38bの開度を制御することにより、スライダ32をガイド軸31に対して任意の位置に移動させることができる。

【0004】この空気圧アクチュエータに、位置検出器を設置して、位置フィードバック制御系が構成される。

【0005】上記のような空気圧アクチュエータは、構成が比較的容易で、コンパクトな装置で大きな出力を制御できるため様々な分野で利用されている。また、クリーンで防爆性を有するという特徴を有しているため、半導体製造装置の高精度位置決め機構などへの応用が期待されている。

#### 【0006】

【発明が解決しようとする課題】一般的に、ピストン形の空気圧駆動システムは、圧力室、ピストンあるいは受圧板、サーボ弁、制御部から構成され、圧力室を1つ有する単動型と、ピストンをはさんで圧力室を2つ有する複動形に分けられる。

【0007】2台のサーボ弁を用いた複動形の空気圧アクチュエータの場合、2台のサーボ弁の中立点（指令値0でスプールが停止する位置）に僅かな機差があると、位置制御系に定常位置偏差を生じ、高精度位置決めが困難となる。

【0008】従来は、この2台のサーボ弁中立点の機差をなくすために、実際に使用する圧力の圧縮空気をサーボ弁に供給し、サーボ弁を中立点に停止させて、圧力室の差圧が零になりピストンが停止するようにサーボ弁の中立点のオフセットを調整していた。

【0009】しかし、圧縮空気の供給圧力の変化や、サーボ弁の経年変化により使用中にサーボ弁の中立点にずれが生じ、位置制御において定常位置偏差を発生させる原因となっていた。なお、定常位置偏差の発生要因は、上記のサーボ弁の中立点機差のみならず、スライダ可動部に取り付けられた配線、配管による張力、スライダの傾きによる重力、ガイドが取り付けられた定盤の振動等がある。しかし、発明の実施の形態を含む以下では、便宜上、定常位置偏差の発生要因としてサーボ弁の中立点機差のみを挙げて説明を行う。従って、以降で明らかになる本発明は、上記のすべての発生要因で生じる定常位

置偏差を補正して制御を行うものである。

【0010】本発明の課題は、静圧軸受により浮上したスライダを、複動形の2台のサーボ弁を用いて差圧により駆動する空気圧アクチュエータにおいて、スライダの動作中に2台のサーボ弁の中立点の機差を補正し、スライダを高精度で位置制御できるような制御方法及び制御装置を提供することにある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による制御方法

10 は、固定部とこれに対して静圧軸受を介してスライド可能に設けられたスライダとを含み、該スライダを可動とするための2つの圧力室を形成し、これら2つの圧力室に供給される圧縮気体の流量をそれぞれサーボ弁により制御することにより、前記2つの圧力室の差圧で前記スライダを非接触で駆動するように構成された気体圧アクチュエータの制御方法であり、前記スライダの位置を検出するための位置検出器からの位置検出信号に対してサンプリングを行ってあらかじめ定められた演算を行い、前記2つのサーボ弁に指令値を出力する演算装置を備え、該演算装置は、1サンプリング周期前の指令値と1サンプリング周期前のスライダ位置とを用いて現在のスライダの推定位置、推定速度、推定加速度を算出する第1のステップと、スライダ目標位置、算出されたスライダの推定位置、算出された推定速度、算出された推定加速度より前記2つのサーボ弁に対する指令値を算出する第2のステップと、1サンプリング周期前の指令値、1サンプリング周期前の算出された推定速度、1サンプリング周期前の算出された推定加速度、算出された現在の推定加速度から定常位置偏差に対する補正値を算出する第3のステップと、前記第2のステップで算出された指令値を前記第3のステップで算出された補正値で補正して前記2つのサーボ弁に与える第4のステップとを実行することを特徴とする。

30 40 50 【0012】本発明による制御装置は、固定部とこれに対して静圧軸受を介してスライド可能に設けられたスライダとを含み、該スライダを可動とするための2つの圧力室を形成し、これら2つの圧力室に供給される圧縮気体の流量をそれぞれサーボ弁により制御することにより、前記2つの圧力室の差圧で前記スライダを非接触で駆動するように構成された気体圧アクチュエータにおいて、前記スライダの位置を検出するための位置検出器と、該位置検出器からの位置検出信号に対してサンプリングを行ってあらかじめ定められた演算を行い、前記2つのサーボ弁に指令値を出力する演算装置とを含み、該演算装置は、1サンプリング周期前の指令値と1サンプリング周期前のスライダ位置とを用いて現在のスライダの推定位置、推定速度、推定加速度を算出する第1のステップと、スライダ目標位置、算出されたスライダの推定位置、算出された推定速度、算出された推定加速度より前記2つのサーボ弁に対する指令値を算出する第2の

ステップと、1 サンプリング周期前の指令値、1 サンプリング周期前の算出された推定速度、1 サンプリング周期前の算出された推定加速度、算出された現在の推定加速度から定常位置偏差に対する補正値を算出する第3のステップと、前記第2のステップで算出された指令値を前記第3のステップで算出された補正値で補正して前記2つのサーボ弁に与える第4のステップとを実行することを特徴とする。

【0013】なお、前記気体圧アクチュエータは、一軸方向に延びるガイド軸を前記固定部として有し、前記スライダは前記静圧軸受を介して前記ガイド軸に沿って移動可能にされており、前記ガイド軸の周囲と前記スライダとの間に空間を形成すると共に、該空間を軸方向に関して前記2つの圧力室に区画する隔壁を前記スライダ、前記ガイド軸の一方に設け、前記2つの圧力室にそれぞれ前記圧縮気体を供給するための給気系が備えられ、該給気系にはそれぞれ3位置3ポート直動型サーボ弁が設けられて前記2つの圧力室にそれぞれ、圧縮気体を出入り可能に構成されていることを特徴とする。

【0014】また、前記スライダ目標値が与えられてからサーボ弁に対する指令値が出力されるまでの制御系があらかじめ定められた伝達関数  $G_c(s)$  で規定される場合、前記演算装置は更に、前記スライダ目標値に前記伝達関数の逆モデル  $G_c(s)^{-1}$  を乗算するステップを実行することにより定常速度偏差を低減することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】図1、図2を参照して、本発明において使用される空気圧アクチュエータについて説明する。図1において、空気圧源10からレギュレータ11Aで適当な圧力に調節された空気が静圧空気軸受12に供給される。この静圧空気軸受12の空気によりスライダ13がロッド（ガイド軸）14から浮上し、ロッド14と非接触で移動が可能となる。したがって、移動に際しての摺動抵抗をもたない。また、リニアスケール等による位置センサ15によりスライダ13の位置を検出しその位置情報を電気信号により出力する。位置センサ15により出力された信号は演算装置20に入力される。

【0016】演算装置20では入力された位置情報をもとに制御演算を行い、サーボアンプ21A、サーボアンプ21Bにスプール位置指令信号（電気信号）を出力する。この際、サーボアンプ21A、サーボアンプ21Bへの指令値は、絶対値が同じで符号を反転させた値を用いる。

【0017】サーボアンプ21A、サーボアンプ21Bは、この指令値に従いサーボ弁22A、サーボ弁22Bのスプール位置をそれぞれ制御する。なお、サーボ弁22A、サーボ弁22Bの2台のサーボ弁は、3位置3ポート直動型サーボ弁である。

【0018】サーボ弁22A、サーボ弁22Bはレギュ

レータ11Bにより適当な圧力に調節された圧縮空気が供給されており、サーボ弁22A、サーボ弁22B内のスプール位置により通過する流量が変動する。サーボ弁22A、サーボ弁22Bを通過した空気はスライダ13内に設けられた2つの圧力室16A、圧力室16Bに供給される。圧力室16A、圧力室16Bの差圧がスライダ13の内壁に取り付けられた受圧板（隔壁）17に作用し、スライダ13を移動させる。

【0019】次に、図2をも参照して、図1に示された空気圧アクチュエータにおけるスライダ13とロッド14の間の構造について説明する。

【0020】この例では、ロッド14として断面四角形状の軸体を用い、スライダ13もロッド14を挿通可能な断面四角形状の内部空間を持つ断面四角形状にされている。特に、スライダ13の内壁とロッド14の外周面との間の隙間はわずかである。また、ロッド14の中央部に近い領域において圧力室を形成することができるように、ここではロッド14を細くしてその上側と下側とに空間ができるようにしている。そして、上側の空間、下側の空間をそれぞれ2つの圧力室16A、16Bに区画するために、スライダ13の上側内壁、下側内壁にそれぞれ、ロッド14に沿ってスライド可能な受圧板17を固定している。なお、受圧板17は、図6の例のようにロッド14側に固定されていても良い。また、圧力室16A、16Bは、ロッド14の上下のみならず、ロッド14の全周にわたるように形成されても良い。

【0021】以下では、2つに区画された圧力室16A、16Bのうち、圧力室16A側の構造について説明する。圧力室16B側もまったく同じ構造である。

【0022】圧力室16Aに圧縮空気を出入り可能にするために、ロッド14内の中心にその端部から中央部に向けて空気通路14-1を設けている。この空気通路14-1は、圧力室16Aに近い部分で上下に分岐されてそれぞれ上側、下側の圧力室16Aに連通している。ロッド14の端部における空気通路14-1には、空気配管が接続され、更に、図1で説明したサーボ弁22Aが備えられる。スライダ13の最大ストロークは、圧力室16A、16Bの軸方向寸法により決まる。

【0023】圧力室16Aに近いロッド14の周囲にはまた、静圧空気軸受12が設けられ、静圧空気軸受12の両側に排気部19-1、19-2が設けられる。静圧空気軸受12は、ロッド14の断面形状が矩形状であるので、その4つの面に設けられる。静圧空気軸受は良く知られているので、詳しい説明は省略する。排気部19-1、19-2は、圧力室16Aからの漏れ空気、静圧空気軸受12からの空気を排気するためのものであり、排気を容易にするためにロッド14の外周に溝を形成し、この溝を通して排気を行うようにしている。ロッド14には更に、その軸方向に関して静圧空気軸受12よりも外側の位置に真空排気部19-3が設けられる。

【0024】真空排気部19-3を備えるのは、本空気圧アクチュエータが、真空チャンバ内で使用される場合を考慮してのことであり、この真空排気部19-3も排気を容易にするために、ロッド14の周囲に溝を形成し、この溝を通して真空引きを行うようにしている。

【0025】静圧空気軸受12に圧縮空気を供給するために、ロッド14内にその端部から静圧空気軸受12に至る複数の空気通路14-2を設けている。ロッド14内にはまた、その端部から排気部19-1、19-2の溝に至る複数の排気通路14-3を設けている。ロッド14内には更に、その端部から真空排気部19-3の溝に至る排気通路14-4を設けている。この排気通路14-4は、真空排気部19-3の溝に、ロッド14の4つの面毎に穴を設け、それぞれの穴に連通するようにされるのが望ましい。なお、図2では、便宜上、ロッド14に設けられた複数種類の通路をすべて実線で示しているが、これらの通路は、ロッド14内の周方向に関して\*

$$P_n(s) = K_n \cdot \omega_n^2 / s(s^2 + \omega_n^2) \quad (1)$$

$K_n$ 、 $\omega_n$  はプラントの特性から決まる定数、 $s$  は微分器でありその乗数は微分の階数を表わす。図3の $K_s$  はサーボ弁の特性から決まる定数である。

【0030】以下に演算装置20の動作を説明する。以下で、添え字 $k=0, 1, \dots$ は、位置センサ15の検出信号に対して行われるサンプリングの各サンプリング周期のその変数のサンプル値を表わす。

【0031】(1) 空気圧源10からの空気をレギュレータ11Aで適当な圧力に調節し静圧空気軸受12に供給する。この静圧空気軸受12の空気によりスライダ13をロッド14から浮上させ、スライダ13がロッド14と非接触で移動可能な状態にする。

【0032】(2) 位置センサ15によりスライダ13の位置を検出しその位置情報を電気信号により出力する。位置センサ15により出力された信号は演算装置20に入力される。

【0033】(3) 演算装置20は位置センサ15からの検出信号に対してサンプリングを行い、以下で述べるような演算を行う。指令値 $u(k-1)$ と(2)で検出したスライダ位置 $x(k-1)$ からカルマンフィルタ21による演算を行い、次式からスライダの推定位置 $x_{op}(k)$ 、推定速度 $x_{ov}(k)$ 、推定加速度 $x_{oa}(k)$ を得る。なお、 $k$ は現在のサンプル値、 $(k-1)$ は1サンプリング周期前のサンプル値を表わす。また、 $e$ を付す場合には、推定値を表すものとする。

$$x_{op}(k) = \Delta T [x_{ov}(k-1) + l_1 \{x(k-1) - x_{op}(k-1)\}] + x_{op}(k-1)$$

\*異なった位置に設けられることは言うまでもない。

【0026】ロッド14の端部における複数の空気通路14-2には空気配管が接続され、更に圧縮空気供給源が備えられる。同様に、ロッド14の端部における複数の排気通路14-3には空気配管が接続され、更に排気用のポンプが備えられる。ロッド14の端部における排気通路14-4には空気配管が接続され、更に真空引き用のポンプが備えられる。

【0027】なお、本空気圧アクチュエータが真空チャンバ内に設けられる場合、ロッド14の両端部は、真空チャンバの側壁において支持されるように側壁を貫通する。したがって、ロッド14の両端部における空気配管の接続は、真空チャンバの外で行われる。

【0028】図3に演算装置20で行われる制御演算のブロック線図を示す。図3のプラント(スライダ系)Pのノミナルモデル $P_n$ を次のように表わす。

【0029】

$$\begin{aligned} x_{ev}(k) &= \Delta T [x_{ea}(k-1) + l_2 \{x(k-1) - x_{ep}(k-1)\}] + x_{ev}(k-1) \\ x_{ea}(k) &= \Delta T [a x_{ev}(k-1) + b u(k-1) + l_3 \{x(k-1) - x_{ep}(k-1)\}] + x_{ea}(k-1) \end{aligned}$$

但し、 $a = -\omega_n^2$ 、 $b = K_s K_n \omega_n^2$ 、 $\Delta T$ はサンプリング周期である。

【0035】(4) スライダ目標位置 $x_{ref}(k)$ と算出されたスライダ位置推定値 $x_{op}(k)$ 、算出された速度推定値 $x_{ov}(k)$ 、算出された加速度推定値 $x_{oa}(k)$ の各フィードバック値より指令値 $u(k)$ を計算する。

$$u(k) = K_p \{x_{ref}(k) - x_{op}(k)\} - K_v x_{ov}(k) - K_a x_{oa}(k)$$

但し、 $K_p$ は比例ゲイン、 $K_v$ は速度ゲイン、 $K_a$ は加速度ゲインである。

【0037】(5) 1サンプリング周期前の指令値 $u(k-1)$ 、スライダ推定速度 $x_{ov}(k-1)$ 、推定加速度 $x_{oa}(k-1)$ と算出された現在の推定加速度 $x_{oa}(k)$ から次式のようにサーボ弁中立点の機差の補正值 $d_o(k)$ を計算する。

$$d_o(k) = u_o'(k) - u'(k)$$

但し、 $u_o'(k)$ 、 $u'(k)$ はそれぞれ、以下の数1、数2で与えられる。

【0039】

【数1】

$$u_e^-(k) = \frac{1}{T_f} (x_{ea}(k) - x_{ea}(k-1) - a \Delta T x_{ev}(k-1)) - \frac{(\Delta T - T_f)}{T_f} u_e^-(k-1)$$

【数 2】

$$u^-(k) = \frac{1}{T_f} [\Delta T \{u(k-1) - d_e(k-1)\} - (\Delta T - T_f) u^-(k-1)]$$

$T_f$  は図 3 中の外乱オブザーバ 22 において次式で表わされるフィルタの時定数である。

【0040】  $F(s) = 1 / (T_f s + 1)$

(6) (4) で計算した指令値  $u(k)$  と (5) で計算した  $d_e(k)$  によりサーボアンプ 21A、21B への指令値  $u(k) - d_e(k)$  を計算し、これをサーボアンプ 21A、サーボアンプ 21B に電気信号として出力する。この際、サーボアンプ 21A、サーボアンプ 21B への指令値は、絶対値が同じで符号を反転させた値を用いる。

【0041】 (7) サーボアンプ 21A、サーボアンプ 21B は、指令値  $u(k) - d_e(k)$  に従い、サーボ弁 22A、サーボ弁 22B のスプール位置をそれぞれ制御する。サーボ弁 22A、サーボ弁 22B はレギュレータ 11B により適当な圧力に調節された圧縮空気が供給されており、サーボ弁 22A、サーボ弁 22B 内のスプール位置により通過する流量が変動する。

【0042】 (8) サーボ弁 22A、サーボ弁 22B を通過した空気はスライダ 13 内に設けられた 2 つの圧力室 16A、圧力室 16B に供給される。圧力室 16A、圧力室 16B の差圧がスライダ 13 に取り付けられた受圧板 17 に作用しスライダ 13 を移動させる。

【0043】 (9) 上記の (2) から (8) を繰り返し、スライダ 13 を目標位置  $X_{ref}$  に制御する。

【0044】 なお、 $u(0)$ 、 $x_{ep}(0)$ 、 $x_{ev}(0)$ 、 $x_{ea}(0)$ 、 $d_e(0)$  の初期値はすべて零とする。

【0045】 上記のように、スライダ 13 の位置、速度、加速度を推定するために、本形態ではカルマンフィルタ 21 を適用している。また、2 台のサーボ弁を使用した空気圧位置制御系では、各サーボ弁の中立点の違いが外乱となり定常位置偏差が生じる。この外乱を外乱オブザーバ 22 で推定し、打ち消すことで、これらの定常位置偏差を補償している。そして、外乱オブザーバ 22 を適用することにより、フィルタ  $F(s)$  の帯域での外乱やプラントのパラメータ変動に対するロバスト性を補償できる。

【0046】 いずれにしても、カルマンフィルタ、外乱オブザーバを用いることにより、対象とする空気圧サー

ボ系の特性を (1) 式のノミナルモデルに近付けることができる。

【0047】 上記のような制御によれば、カルマンフィルタ 21、外乱オブザーバ 22 によりスライダ 13 の停止位置精度が改善される。このような制御は、スライダをステップ状に動かし、停止位置精度だけを問題にする場合には十分である。しかし、スライダの等速移動時のように目標値が連続的に変化する場合には定常速度偏差が生じるため、スライダの駆動中の精度を問題にする場合には、上記の制御では不十分である。

【0048】 そこで、定常速度偏差を改善するための手法を以下に説明する。

【0049】 外乱オブザーバ 22 によって外乱（サーボ弁中立点機差等）が補正され、カルマンフィルタ 21 によって位置、速度、加速度が正確に推定されると、図 3 のブロック線図は図 4 のように書き換えられる。図 4 では、実際のサーボ弁の特性から決まる定数  $K$ 。（サーボ弁ゲイン）は、演算装置 20 内で想定しているサーボ弁ゲイン  $K_{sn}$  と等しいものとし、プラント（スライダ系）の特性  $P(s)$  もノミナルモデル  $P_n(s)$  と等しいものとしている。

【0050】 この場合、目標値  $x_{ref}$  から制御量  $x$  までの閉ループ伝達関数は、

$$G_c(s) = x / x_{ref} = A_3 / (s^3 + A_1 s^2 + A_2 s + A_3)$$

となる。但し、

$$A_1 = K_{sn} K_n \omega_n^2 K_a$$

$$A_2 = (1 + K_{sn} K_n K_v) \omega_n^2$$

$$A_3 = K_{sn} K_n \omega_n^2 K_p$$

である。

【0051】 定常速度偏差を低減するためには、図 5 に示すように、図 3 のブロック線図における目標値  $x_{ref}$  の入力部に上記の閉ループ伝達関数の逆モデル  $G_c(s)^{-1}$  を挿入すれば良い。このような逆モデルを挿入することによって、全体の伝達関数は理想的な 1 となり、定常速度偏差が改善される。

【0052】 なお、目標値  $x_{ref}$  に逆モデル  $G_c(s)^{-1}$  を乗算したものは次式で計算できる。

【0053】

$$x_{ref} G_c(s)^{-1} = x_{ref} (s^3 + A_1 s^2 + A_2 s + A_3) / A_3$$



$$= (j_{ref} + A_1 a_{ref} + A_2 v_{ref} + A_3 x_{ref}) / A_3$$

但し、 $v_{ref}$  は目標値  $x_{ref}$  を 1 階微分した目標速度であり、 $a_{ref}$  は目標値  $x_{ref}$  を 2 階微分した目標加速度であり、 $j_{ref}$  は目標値  $x_{ref}$  を 3 階微分した目標ジャークである。

\* 【0054】したがって、離散化した指令値  $u(k)$  は、以下の数 3 で計算される。

【0055】

\* 【数 3】

$$u(k) =$$

$$K_p \left\{ \frac{j_{ref}(k) + A_1 a_{ref}(k) + A_2 v_{ref}(k) + A_3 x_{ref}(k)}{A_3} - x_{ep}(k) \right\} - K_v x_{ev}(k) - K_a x_{ea}(k)$$

【0056】なお、本発明が適用される空気圧アクチュエータは、図 1、図 2 に示された構造のものに限られるものではない。すなわち、固定部とこれに対して静圧軸受を介してスライド可能に設けられたスライドとの間に 2 つの圧力室が形成され、これら 2 つの圧力室に供給される圧縮空気の流量をそれぞれ 3 位置 3 ポート直動型サーボ弁により制御することにより、2 つの圧力室の差圧でスライダを非接触で駆動するように構成された空気圧アクチュエータ、更には空気圧に限らず気体圧アクチュエータ全般に適用可能である。

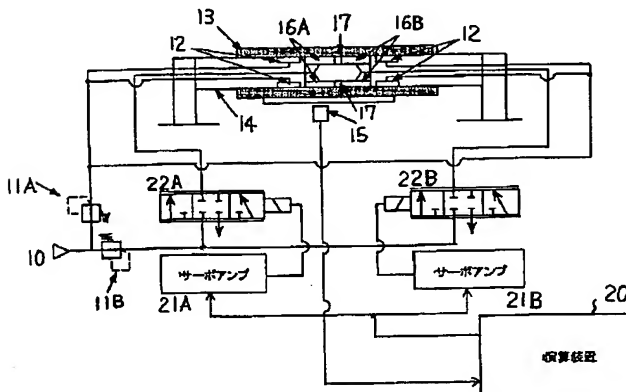
【0057】

【発明の効果】以上のように、複動形の気体圧アクチュエータにおいて 2 台の 3 位置 3 ポート直動型サーボ弁を用いてスライダの位置制御を行う場合、2 台のサーボ弁で中立点が異なるとスライダ位置に定常位置偏差を生じる。これに対し、本発明では上記の演算方法によりサーボ弁の中立点の機差等に起因する定常位置偏差を推定し、これを補償しているのて上記のような定常位置偏差が大幅に減少し、スライダを高精度で位置決め制御できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明が適用される空気圧アクチュエータの構成を示した図である。

【図 1】



【図 2】図 1 に示された空気圧アクチュエータにおけるスライダとロッドの間の構造を示した図である。

【図 3】図 1 に示された演算装置で行われる定常位置偏差低減のための制御演算のブロック線図を示した図である。

【図 4】図 3 のブロック線図を簡略化した図である。

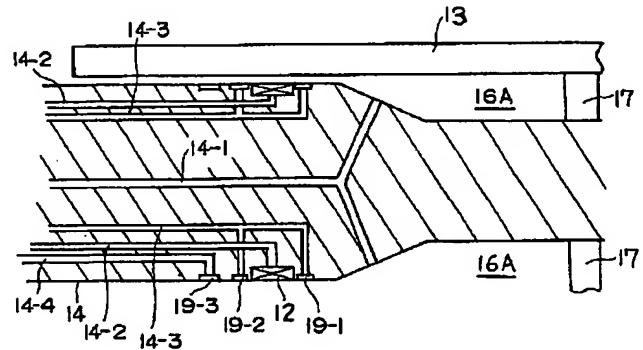
【図 5】図 1 に示された演算装置で行われる定常速度偏差低減のための制御演算のブロック線図を示した図である。

【図 6】空気圧アクチュエータの一般的の構成を示した図である。

【符号の説明】

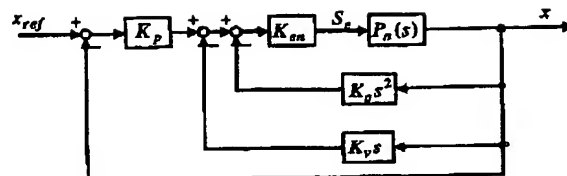
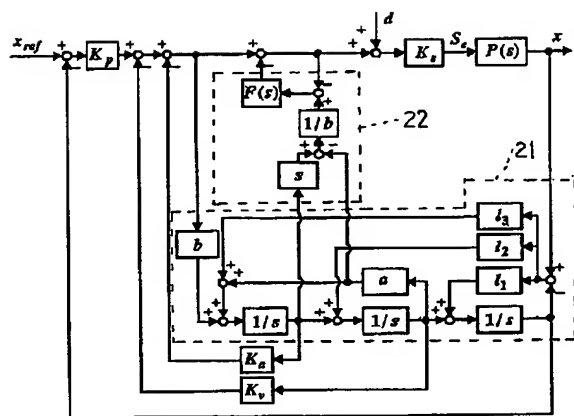
- 11 A、11 B レギュレータ
- 12 静圧空気軸受
- 13 スライダ
- 14 ロッド
- 15 位置センサ
- 16 A、16 B 圧力室
- 17 受圧板
- 20 演算装置
- 21 A、21 B サーボアンプ
- 22 A、22 B サーボ弁

【図 2】

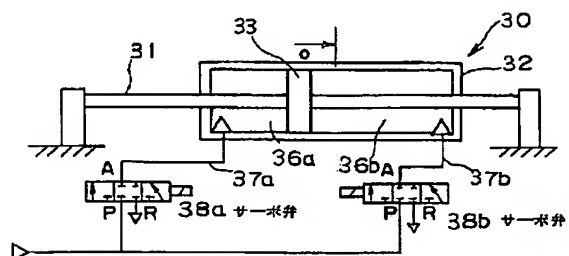




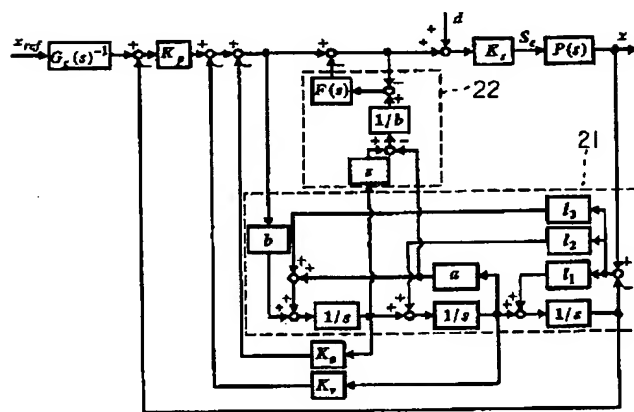
【図 4】



【図 6】



【図 5】



F ターム (参考)

3H001	AA01	AB06	AB10	AC03	AD04
	AE12	AE14	AE24		
5H303	AA06	BB01	BB06	BB11	CC02
	DD09	EE01	EE03	EE07	FF03
	GG12	HH02	JJ01	JJ04	KK11
	KK24				